

2. Применение системы технического зрения с базой данных на основе ИНС с созданной базой данных дефектов плодов показало высокую эффективность при сортировке плодов, обеспечив точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – на 73,1 %.

Список использованных источников

1. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
2. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Черноград, 2004. – 19 с.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 235 с.
4. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – №2. – С.48–51.
5. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А. С. Гордеев ; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.
6. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
7. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
8. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.

УДК 631.362:634.10

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОСМОТРА ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье приведено обоснование метода осмотра поверхности плодов при их сортировке посредством оптического метода с использованием системы технического зрения.

Ключевые слова: плоды, метод осмотра, вероятность осмотра, площадь плода, объект контроля, приемник излучения.

A. N. Yurin

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

SUBSTANTIATION OF THE INSPECTION METHOD FOR OPTICAL IDENTIFICATION OF FRUIT QUALITY

Abstract. This article provides a rationale for the method of inspecting the surface of fruits during their sorting by means of an optical method using a technical vision system.

Keywords: fruits, inspection method, inspection probability, fruit area, control object, radiation receiver.

Введение

Наиболее трудоёмкий процесс производства плодов – контроль их качества, включающий сортировку с целью удаления нестандартной продукции и примесей. На эти операции приходится до 70 % всех затрат, они ведутся вручную при визуальном контроле [1–3].

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с минимальным участием человека.

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля, как обладающий высокой точностью измерения качества и большим соответствием условиям технологии.

Поэтому обоснование основных параметров технических средств для оптического метода идентификации качества плодов является важной агроинженерной задачей.

Основная часть

Эффективная работа оптико-электронных систем контроля свойств плодов возможна только при попадании контролируемых признаков в зону осмотра и обнаружении их данными системами. В зависимости от целей контроля и свойств объектов разрабатываемые системы подразделяются на интегральные и сканирующие, а первые, в свою очередь, – на осматривающие весь плод и определяющие усредненные показатели всей поверхности плода или только части, попавшей в поле зрения.

Сканирующие оптико-электронные системы поэлементно просматривают всю поверхность плода для обнаружения геометрических признаков на плодах, наличия или отсутствия участков, пораженных болезнями, имеющих механические повреждения или инородных областей на поверхности плодов. Области дефектов имеют различную форму, размеры и случайное месторасположение на поверхности плодов, что уменьшает вероятность их попадания в поле обзора и полного совпадения с полем зрения сканирующей системы. В связи с этим для обнаружения малоразмерной области дефекта необходим тщательный осмотр плода.

Таким образом, для все типов оптико-электронных систем важна вероятность осмотра поверхности плода. Задача осмотра поверхности плода может быть охарактеризована вероятностью однократного осмотра

$$P_{осм_1} = \frac{S_{осм_1}}{S_{пл}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i} - \sum_{i=2}^n S_{осм_i}}{S_{пл}},$$

где $P_{осм_1}$ – вероятность однократного осмотра; $S_{осм_1}$ – площадь однократного осмотра поверхности плода; $S_{пл}$ – площадь поверхности плода; $S_{осм_i}$ – площадь поверхности, осматриваемая i раз.

Вероятность двукратного осмотра вычисляется по формуле

$$P_{осм_2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i} \sum_{i=3}^n S_{осм_i}}{S_{пл}} - P_{осм_1}.$$

Вероятность n -кратного осмотра:

$$P_{осм_n} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i}}{S_{пл}} - \sum_{i=1}^{n-1} P_{осм_i}.$$

Для оценки эффективности осмотра целесообразно контролируемые плоды представить в виде геометрической модели. Для этого можно использовать шар, эллипсоид, цилиндр, конус. Рассмотрим плод, описываемый шаром единичного радиуса. Оптико-электронную систему можно представить единичным радиус-вектором $r_0(x_0, y_0, z_0)$, координаты которого изменяются в зависимости от параметров оптико-электронной системы и перемещения плода.

Единичную сферу можно принять неподвижной, а положение оптико-электронной системы задавать единичным радиус-вектором $r_0(x_0, y_0, z_0)$, координаты которого зависят от положения.

Вращение вектора r_0 в трёхмерном пространстве можно описать в виде ортогонального линейного преобразования:

$$\begin{aligned}x_0' &= a_{11}x_0 + a_{12}y_0 + a_{13}z_0; \\y_0' &= a_{21}x_0 + a_{22}y_0 + a_{23}z_0; \\z_0' &= a_{31}x_0 + a_{32}y_0 + a_{33}z_0.\end{aligned}$$

В этом случае оптико-электронная система характеризуется конусом эффективного осмотра, который охватывает часть плода и может быть описан вращением радиус-вектора $\vec{r}_0(x_0, y_0, z_0)$, вокруг осей координат.

Матрицу преобразования $A \equiv [a_{jk}]$, описывающую собственное вращение в трёхмерном пространстве, можно представить в виде произведения трех матриц:

$$\begin{aligned}A &\equiv A_1(\alpha), A_2(\beta), A_3(\gamma) \equiv \\ &\equiv \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},\end{aligned}\quad (1)$$

где α, β, γ – углы поворота вокруг осей X, Y, Z соответственно.

Значения коэффициентов a_{jk} определяются как элементы матрицы произведения A из выражений:

$$\begin{aligned}a_{11} &= \cos \varphi \cos \gamma - \sin \varphi \sin \gamma \cos \alpha; \\a_{21} &= -\cos \varphi \sin \gamma - \sin \varphi \cos \gamma \cos \alpha; \\a_{31} &= \sin \varphi \sin \alpha; \\a_{12} &= \sin \varphi \cos \gamma + \cos \varphi \sin \gamma \cos \alpha; \\a_{22} &= \cos \varphi \cos \gamma \cos \alpha - \sin \varphi \sin \gamma; \\a_{32} &= -\cos \varphi \sin \alpha; \\a_{13} &= \sin \varphi \sin \alpha; \\a_{23} &= \cos \gamma \sin \alpha; \\a_{33} &= \cos \alpha.\end{aligned}$$

Для оценки полноты осмотра сфера разбивается на n элементарных участков, количество участков выбирается с учетом погрешностей результатов моделирования из соотношения

$$n \gg \frac{S_{пл}}{\pi d_a^2};$$

где d_a – разрешающая способность оптико-электронной системы.

Координаты центров указанных площадок вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}z_i &= \frac{n' + 1}{n'} - \frac{2i}{n}; \\x_{ij} &= \cos \varepsilon_j' \sqrt{1 - z_i^2}; \\y_{ij} &= \sin \varepsilon_j' \sqrt{1 - z_i^2}; \\ \varepsilon_j' &= j \frac{2\pi}{n}; \quad i = 1, 2, \dots, n'; \quad j = 1, 2, \dots, n' .\end{aligned}$$

Критерий осмотра элементарной площадки с центром в точке $M_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ – размер проекции площадки на плоскость, перпендикулярную $r_0(x_0, y_0, z_0)$, проходящую через начало координат (центр сферы) $S_{проекции} \geq \pi d_a^2$. Уравнение такой проекции имеет вид:

$$x_0x + y_0y + z_0z = 0.$$

Дополнительно этот критерий проверяется по условию взаимного расположения точек M_{ij} и точки $M_o(x_o, y_o, z_o)$ относительно плоскости, перпендикулярной $r_0(x_0, y_0, z_0)$ и проходящей через начало координат (центр сферы). Как известно, точки M_{ij} и M_o находятся по одну сторону плоскости, когда

$$D = x_o^2 + y_o^2 + z_o^2;$$

$$B_{ij} = x_0x_{ij} + y_0y_{ij} + z_0z_{ij}.$$

Так как $D = 1$, то критерием осмотра элементарной площадки может быть выполнение условия $B_{ij} > 0$.

Обзор, осуществляемый точечным приемником, находящимся на оси X , можно представить как поворот вокруг двух осей на угол соответственно $\pm\beta$ и $\pm\gamma$. Для тел, имеющих форму шара, угол $\beta = \gamma$. Для приемника на оси Y обзор представляется поворотом вокруг осей X и Z соответственно на угол $\pm\alpha$ и $\pm\gamma$.

Очевидно, чем больше углы поворота, тем выше $P_{осм}$. Так как $\sum_{i=1}^n S_{осм_i}$ не зависит от расположения приемников, то наиболее эффективен $P_{осм}$ при расположении фотоприемников с наименьшим перекрытием зон. Для приемников с одинаковыми свойствами наиболее эффективно с этой точки зрения расположение при двух приемниках – напротив, на одной из осей X, Y (рисунок), при трех приемниках – в углах равностороннего треугольника с центром в M_o , при четырех и более приемниках – в углах правильных многоугольников с центром в точке M_o .

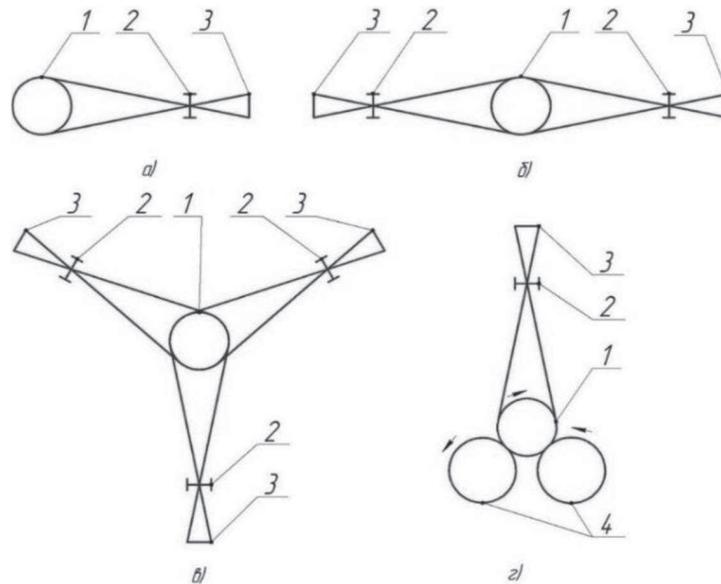


Схема расположения приемников при осмотре объектов: а – схема с одним приемником; б – схема с двумя приемниками; в – схема с тремя приемниками; г – схема осмотра с вращением объекта; 1 – объект контроля; 2 – объектив; 3 – приемник излучения; 4 – ролики

Для эффективного осмотра наряду с увеличением количества приемников и точек осмотра другим направлением повышения эффективности может быть поворот на заданный угол в пространстве самого объекта.

Подобный способ осмотра поверхности реализован в технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [3].

Выводы

1. Для качественного выполнения идентификации качества плодов важным является наиболее полный осмотр поверхности плода.
2. Наиболее рациональным способом осмотра поверхности плода является применение СТЗ с одним приёмником излучения, который осуществляет осмотр объекта контроля, осуществляющего вращение вокруг собственной оси.

Список использованных источников

1. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
2. Юрин, А. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс] / А. Юрин, Д. Жданко // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protssessov-v-sadovodstve/>. – Дата доступа: 30.04.2018.
3. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.

УДК 631.171

Поступила в редакцию 19.10.202
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ В САДОВОДСТВЕ БЕЛАРУСИ

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос определения границ экономической эффективности различных агрегатов для механизации наиболее трудоемких процессов возделывания интенсивных садов в природно-производственных условиях Республики Беларусь, таких как уборка плодов и ягод, обрезка деревьев, утилизация обрезанных веток и сортировка плодов.

Так при выполнении указанных операций один и тот же агрегат в одних условиях при одном объеме работ может быть самым эффективным из ряда других, при ином же объеме работ он может оказаться недостаточно эффективным.

Выполнение данных технологических операций возможно, как с применением ручного труда, так и с использованием машинно-тракторных агрегатов различной производительности. Обоснование выбора способа выполнения операций проводилось на основе анализа удельных затрат при различной годовой наработке. При выборе агрегатов для проведения уборочных работ учитывались также потери урожая от нарушения агротехнических сроков.

В процессе исследования установлено, что применение механизированных средств для выполнения уборки плодов, обрезки деревьев и сортировки плодов целесообразнее, чем применение ручного труда при годовой выработке более 18 га, 130 га и 750 т соответственно. Уборка ягод смородины и аронии полурядным комбайном эффективна при годовой выработке не более 35 га, при большем годовом объеме работ целесообразно применение однорядного самоходного ягодоуборочного комбайна.

Ключевые слова: сады интенсивного типа, ручной труд, механизация, уборка плодов, обрезка деревьев, сортировка плодов, утилизация веток, затраты труда, себестоимость, экономическая эффективность, ягодоуборочной платформа, ягодоуборочный комбайн, измельчитель веток, потери урожая, агротехнические сроки.